



(12) **Offenlegungsschrift**  
 (11) **DE 37 13 542 A 1**

(51) Int. Cl. 4:

**G 01 F 1/38**

(21) Aktenzeichen: P 37 13 542.2  
 (22) Anmeldetag: 22. 4. 87  
 (43) Offenlegungstag: 29. 10. 87

**Deutschland eingetragen**

**DE 37 13 542 A 1**

(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)

25.04.86 JP P 96510/86      25.04.86 JP P 96511/86  
12.09.86 JP P 215115/86

(72) Erfinder:

Ando, Tsuyoshi; Mito, Akio; Kihara, Kazuuki; Nakao, Hirotoshi; Ogawa, Hiroshi; Hatakenaka, Kosuke, Tochigi, JP

(71) Anmelder:

Tokyo Keiki Co. Ltd., Tokio/Tokyo, JP

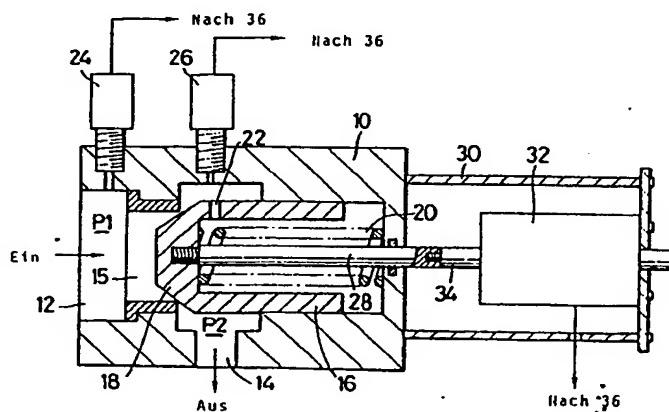
(74) Vertreter:

Mitscherlich, H., Dipl.-Ing.; Guschmann, K., Dipl.-Ing.; Körber, W., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schmidt-Evers, J., Dipl.-Ing.; Melzer, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8000 München

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

## (54) Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät

In einem Kanal, der einen Einlaß (12) mit einem Auslaß (14) verbindet, ist ein Ventilkörper (18) angeordnet, der einen Hub zum Bewirken eines Öffnungsgrades als Reaktion auf eine Durchflußgeschwindigkeit einer Flüssigkeit ausführt. Ein Vor-Rück-Differentialdruck über dem Ventilkörper (18) und der Hub des Ventilkörpers (18) werden mittels Drucksensoren (24, 26) bzw. mittels eines Hubsensors (32) erfaßt. Die Durchflußgeschwindigkeit der Flüssigkeit wird auf der Grundlage des erfaßten Vor-Rück-Differentialdrucks und des erfaßten Hubes des Ventilkörpers (18) berechnet. Aus dem Vor-Rück-Differentialdruck und dem Hub des Ventilkörpers (18) wird ein Durchflußkoeffizient gewonnen, um damit die Durchflußgeschwindigkeit berechnen zu können. Wenn die Reynoldsche Zahl des Systems ihren Maximalwert erreicht hat, wird der Durchflußkoeffizient mittels einer Begrenzungsschaltung auf einen konstanten Wert gesetzt. Dieser konstante Wert wird bei der Berechnung der Durchflußgeschwindigkeit verwendet. Des weiteren wird die Temperatur der Flüssigkeit erfaßt, und die kinematische Viskosität und die Konzentration der Flüssigkeit, welche Größen bei der Berechnung der Durchflußgeschwindigkeit benutzt werden, werden auf der Grundlage der erfaßten Flüssigkeitstemperatur korrigiert.



## Patentansprüche

## 1. Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät, gekennzeichnet durch

- 5 — einen Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus, der einen Ventilkörper (18) hat, welcher in einem Kanal angeordnet ist, der einen Einlaß (12) mit einem Auslaß (14) verbindet, welcher Ventilkörper (18) einen Hub (X) korrespondierend mit einem Öffnungsgrad in Reaktion auf eine Durchflußgeschwindigkeit (Q) ausübt, um dadurch einen Vor-Rück-Differentialdruck ( $\Delta P$ ) über dem Ventilkörper (18) nahezu konstant zu halten, und dadurch, daß
- 10 — ein Differentialdruck-Erfassungsmittel zum Erfassen des Vor-Rück-Differentialdrucks ( $\Delta P$ ) über dem Ventilkörper (18),
- einen Hubsensor (32) zum Erfassen des Hubes (X) des Ventilkörpers (18) sowie
- eine Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit (36) zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit (Q) auf der Grundlage zumindest des erfaßten Differentialdrucks ( $\Delta P$ ) und des erfaßten Hubes (X) vorgesehen sind.

## 2. Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

- 20 — einen Durchflußkoeffizienten-Arithmetikoperationsabschnitt (52) zum Berechnen eines Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) auf der Grundlage des erfaßten Differentialdrucks ( $\Delta P$ ) und des erfaßten Hubes (X),
- eine Begrenzerschaltung (56) zum Festlegen des Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) auf einen konstanten Wert, der durch den Maximalwert einer Reynoldschen Zahl ( $Re$ ) bestimmt ist, wenn die Reynoldsche Zahl ( $Re$ ) in dem Prozeß zur Berechnung des Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) in dem Durchflußkoeffizienten-Arithmetikoperationsabschnitt (52) ihren Maximalwert erreicht, und
- 25 — einen Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationsabschnitt (60) zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit (Q) auf der Grundlage des Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) aus der Begrenzerschaltung (56), des Vor-Rück-Differentialdrucks ( $\Delta P$ ) und des Hubes (X).

## 3. Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- 30 — daß eine Temperaturerfassungseinheit (68) zum Erfassen der Temperatur ( $T$ ) einer Flüssigkeit, die durch den Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus fließt, vorgesehen ist,
- daß ein Korrekturabschnitt (72) zum Korrigieren zumindest einer kinematischen Viskosität ( $\nu$ ) der Flüssigkeit auf der Grundlage des Signals für die erfaßte Temperatur ( $T$ ) aus der Temperaturerfassungseinheit (68) vorgesehen ist,
- 35 — daß ein Durchflußkoeffizient-Arithmetikoperationsabschnitt (52) zum Berechnen des Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) des Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus auf der Grundlage des Vor-Rück-Differentialdrucks ( $\Delta P$ ) und des Hubes (X) des Ventilkörpers (18) und des weiteren auf der Grundlage der korrigierten kinematischen Viskosität ( $\nu$ ) vorgesehen ist,
- 40 — daß eine Begrenzerschaltung (56) zum Festlegen des Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) auf einen konstanten Wert vorgesehen ist, der durch den Maximalwert einer Reynoldschen Zahl ( $Re$ ) bestimmt wird, wenn die Reynoldsche Zahl ( $Re$ ) in dem Prozeß zur Berechnung des Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) in dem Durchflußkoeffizienten-Arithmetikoperationsabschnitt (52) ihren Maximalwert erreicht hat, und
- 45 — daß ein Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationsabschnitt (60) zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit (Q) auf der Grundlage des Vor-Rück-Differentialdrucks ( $\Delta P$ ) und des Hubes (X) des Ventilkörpers (18), der korrigierten kinematischen Viskosität ( $\nu$ ) der Flüssigkeit und des weiteren des Durchflußkoeffizienten ( $C$ ) aus der Begrenzerschaltung (56) vorgesehen ist.

4. Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß Korrekturmittel (70, 72) zum Korrigieren der kinematischen Viskosität ( $\nu$ ) und der Konzentration ( $\rho$ ) der Flüssigkeit auf der Grundlage der erfaßten Temperatur ( $T$ ) der Flüssigkeit vorgesehen sind.

## 5. Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Differentialdruck-Erfassungsmittel

- 55 — einen ersten Drucksensor (24), der bei dem Einlaß (12) angeordnet ist,
- einen zweiten Drucksensor (26), der bei dem Auslaß (14) angeordnet ist, und
- eine Subtrahiereinheit (44) zum Subtrahieren eines Erfassungssignals des zweiten Drucksensors (26) von einem Erfassungssignal des ersten Drucksensors (24) aufweist.

6. Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Differentialdruck-Erfassungsmittel aus einem Differentialdrucksensor (48) besteht, der jeweilige hydraulische Drücke ( $P_1$  bzw.  $P_2$ ) des Einlasses (12) und des Auslasses (14) aufnimmt und ein Erfassungssignal ausgibt, das eine Reaktion auf die Differenz zwischen den hydraulischen Drücken ( $P_1, P_2$ ) ist, die aufgenommen werden.

## 7. Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anzeiger (50) zum Anzeigen der Durchflußgeschwindigkeit (Q) vorgesehen ist, die durch das Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationsmittel berechnet wurde, und daß der Anzeiger (50) integral in einen Körper (10) des Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus eingebaut ist.

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät zum Messen der Durchflußgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in einer hydraulischen Einrichtung, beispielsweise Wasser, eine medizinische Flüssigkeit oder dergl., insbesondere auf ein Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät zum hochgenauen Messen der Durchflußgeschwindigkeit einer unter hohem Druck stehenden, schnellfließenden Flüssigkeit.

Bisher sind derartige Durchflußgeschwindigkeits-Meßgeräte verschiedenartige Geräte, beispielsweise elektromagnetische Geräte, Ultraschall-Geräte, Geräte vom Turbinentyp, Geräte vom Zahnradmotortyp, Geräte vom sog. Ovaltyp, Geräte vom Differentialdrucktyp u. dergl. bekannt geworden.

Das Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät vom Zahnradmotortyp, das eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit hat, ist der am meisten übliche Gerätetyp. In einem derartigen Gerät ist ein Zahnradmotor, der aus einem Paar von Zahnrädern besteht, in einen Flüssigkeitskanal eingesetzt, um dadurch eine Zahnraddrehung zu erzeugen, die mit der Durchflußgeschwindigkeit korrespondiert. Zur Erfassung der Zahnraddrehung wird ein Impuls durch einen Impulsgenerator jedesmal dann erzeugt, wenn ein Zahn des Zahnrades an diesem vorbeidreht. Eine Impulsfrequenz, die durch den Impulsgenerator erzeugt wird, wird ein Spannungssignal umgesetzt, um dadurch die Durchflußgeschwindigkeit zu kennzeichnen. Als Verfahren zum Umsetzen der Frequenz in eine Spannung sind beispielsweise ein Verfahren, durch welches das Intervall zwischen den Impulsen aus dem Impulsgenerator gemessen und in ein Spannungssignal umgesetzt wird, ein Verfahren, durch welches die Anzahl der Impulse, die je Zeiteinheit gewonnen werden, abgezählt und in ein Spannungssignal umgesetzt wird, oder ähnliche Verfahren bekannt geworden.

Indessen ist für eine derartige herkömmliche Zahnradmotor-Durchflußgeschwindigkeits-Meßapparatur eine hohe Fertigungsgenauigkeit erforderlich, um Leckverluste in dem Zahnradmotor-Abschnitt der Apparatur zu verhindern, was zu hohen Fertigungskosten führt. Des Weiteren ist es notwendig, eine Schaltung zum Messen der Periode oder der Anzahl der Impulssignale und zum Umsetzen in ein analoges Spannungssignal vorzusehen. Darüber hinaus ist, wenn die Durchflußgeschwindigkeit niedrig ist, das Intervall zwischen den Impulsen, die erzeugt werden, breit, so daß eine Änderung der Durchflußgeschwindigkeit in diesem Impulsintervall nicht erfaßt werden kann. Es besteht daher eine Beschränkung der Meßgenauigkeit im Falle einer niedrigen Durchflußgeschwindigkeit.

Ein derartiges Problem tritt ebenfalls in ähnlicher Weise bei Durchflußgeschwindigkeits-Meßgeräten des Turbinentyps oder des sog. Ovaltyps auf, in welchen ein drehendes Teil in dem betreffenden Flüssigkeitskanal angeordnet ist. Andererseits sind die Durchflußgeschwindigkeits-Meßgeräte des elektromagnetischen Typs und des Ultraschallwellentyps dafür geeignet, eine hohe Durchflußgeschwindigkeit zu messen. In diesem Falle können die Geräte des Zahnradmotortyps oder dergl. nicht mit der erforderlichen Genauigkeit wegen der notwendigen großen Abmessungen realisiert werden. Andererseits sind die Geräte des elektromagnetischen Typs und des Ultraschallwellentyps ungeeignet, eine Durchflußgeschwindigkeit der Größenordnung zu messen, die bei Verwendung eines solchen Geräts in einem Hydraulikapparat in Frage kommt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein wirtschaftliches Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät zu schaffen, das geeignet ist, eine Durchflußgeschwindigkeit bei einem einfachen Aufbau sogar einer unter hohem Druck stehenden und mit hoher Geschwindigkeit fließenden Flüssigkeit exakt zu messen. Des Weiteren besteht die Aufgabe für die vorliegende Erfindung darin, ein Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät zum Berechnen einer Durchflußgeschwindigkeit durch Erfassen des Vor-Rück-Differentialdrucks und des Hubes eines Ventilkörpers, bei dem eine Änderung seines Öffnungsgrads mit der Durchflußgeschwindigkeit korrespondierend auftritt, zu schaffen. Des Weiteren besteht die Aufgabe für die vorliegende Erfindung darin, ein Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät zum genauen Messen einer Durchflußgeschwindigkeit durch Berechnen eines Durchflußkoeffizienten aus dem Vor-Rück-Differentialdruck und dem Hub eines Ventilkörpers zu schaffen. Schließlich besteht die Aufgabe für die vorliegende Erfindung darin, ein Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät zum genauen Messen einer Durchflußgeschwindigkeit durch Korrektur der Konzentration und der kinematischen Viskosität einer Flüssigkeit aus Erfassungsausgangssignalen für die Temperatur der Flüssigkeit in Verbindung mit dem Vor-Rück-Differentialdruck, dem Hub und dem Durchflußkoeffizienten eines Ventilkörpers zu schaffen.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist gemäß der vorliegenden Erfindung ein Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus, der einen Ventilkörper, beispielsweise in Form eines Tellerventils oder dergl. hat, der einen Öffnungshub aufgrund eines Durchflusses mit einer Durchflußgeschwindigkeit zeigt, in einem Kanal, der einen Einlaß mit einem Auslaß verbindet, vorgesehen. Ein Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  des Ventilelements in dem Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus wird durch einen Drucksensor erfaßt. Der Betrag eines Hubes  $X$  des Ventilkörpers wird durch einen Hubsensor erfaßt. Eine Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  wird dabei aus den Größen  $\Delta P$  und  $X$  berechnet.

Andererseits wird ein Durchflußkoeffizient  $C$  aus dem Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  und dem Betrag des Hubes  $X$  des Ventilkörpers gewonnen, welche Größen erfaßt werden, um daraus die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  berechnen zu können.

Bei der Berechnung des Durchflußkoeffizienten  $C$  wird der Durchflußkoeffizient  $C$  korrespondierend mit einer Reynoldschen Zahl  $Re$  berechnet, und zwar derart, daß die Reynoldsche Zahl  $Re$ , die in dem Berechnungsvorgang gewonnen wird, ihren Maximalwert annimmt. Nachdem die Reynoldsche Zahl  $Re$  ihren Maximalwert erreicht hat, wird der Durchflußkoeffizient  $C$  durch eine Begrenzerschaltung auf einen konstanten Wert gesetzt, und es wird dann die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  berechnet.

Des Weiteren wird die Temperatur  $T$  der Flüssigkeit erfaßt, und es wird deren kinematische Viskosität  $\nu$  zur Verwendung bei der Berechnung des Durchflußkoeffizienten  $C$  korrigiert. Außerdem wird die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  durch die erfaßte Temperatur  $T$  der Flüssigkeit korrigiert.

Die zuvor genannten und weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der im folgenden anhand mehrerer Figuren gegebenen Beschreibung ersichtlich.

Fig. 1 zeigt eine Schnittansicht eines Ausführungsbeispiels für einen Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild, das ein Ausführungsbeispiel für eine Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit gemäß der vorliegenden Erfindung betrifft.

Fig. 3 zeigt eine Schnittansicht, die ein weiteres Ausführungsbeispiel für die vorliegende Erfindung, bei dem ein Differentialdrucksensor vorgesehen ist, darstellt.

Fig. 4 zeigt eine Schnittansicht, die ein weiteres Ausführungsbeispiel darstellt, das mit einem Durchflußgeschwindigkeits-Anzeiger versehen ist.

Fig. 5 zeigt ein Prinzipschaltbild einer Durchflußgeschwindigkeits-Regelschleife, die ein Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät gemäß der vorliegenden Erfindung benutzt.

Fig. 6 zeigt ein Blockschaltbild, das ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt.

Fig. 7 zeigt ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Reynoldschen Zahl und dem Durchflußkoeffizienten in der Arithmetikoperation, welche mittels der Schaltungsanordnung gemäß Fig. 6 durchgeführt wird, darstellt.

Fig. 8 zeigt ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der gemessenen Durchflußgeschwindigkeit, die durch die Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit gemäß Fig. 6 gewonnen wird, und einer Referenz-Durchflußgeschwindigkeit darstellt.

Fig. 9 zeigt eine Schnittansicht, die ein weiteres Ausführungsbeispiel für die vorliegende Erfindung darstellt.

Fig. 10 zeigt eine Schnittansicht eines Temperatursensors, der in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 9 verwendet wird.

Fig. 11 zeigt ein Blockschaltbild, das eine Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit, wie sie in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 9 verwendet wird, darstellt.

Fig. 1 zeigt, wie bereits erläutert, eine Schnittansicht, die ein Ausführungsbeispiel für einen Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus darstellt, der gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

In Fig. 1 bezeichnet das Bezeichnungen 10 einen Hauptkörper des Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus. Der Hauptkörper 10 hat einen Einlaß 12, der sich zu einem Ende hin in axialer Richtung öffnet, und einen Auslaß 14, der sich in seitlicher Richtung öffnet. Ein Sitzelement 15, das einen Ventilsitz bildet, ist in den Stufenabschnitt eines inneren Kanals eingesetzt und dort befestigt, wobei sich der Stufenabschnitt an den Einlaß 12 anschließt. Ein Ventilkörper 18, der integral an dem vorderen Ende einer zylindrischen Hülse 16 ausgebildet ist, kann mittels einer Feder 20 in Druckkontakt mit dem Sitzelement 15 an dessen rechtem Ende gebracht werden. In einem Umfangsabschnitt der Hülse 16 ist ein Durchgangsloch 22 ausgebildet, das mit dem Auslaß 14 kommuniziert, so daß letzterer mit dem Innenraum der Hülse 16, in welchem die Feder 20 eingeschlossen ist, kommunizieren kann. Der hydraulische Druck des Auslasses 14 wird durch das Durchgangsloch 22 auf den Innenraum der Hülse 16, der in sich die Feder 20 enthält, übertragen.

Bei dem Einlaß 12 und bei dem Auslaß 14, welche in dem Hauptkörper 10 ausgebildet sind, ist jeweils ein Drucksensor 24 bzw. 26 angeordnet, um einen hydraulischen Druck  $P_1$  an dem Einlaß bzw. einen hydraulischen Druck  $P_2$  an dem Auslaß erfassen zu können. Die Erfassungssignale für den Einlaß-Druck  $P_1$  und den Auslaß-Druck  $P_2$ , die durch die Drucksensoren 24 und 26 erzeugt werden, werden einer Arithmetikoperationseinheit (nicht gezeigt) zugeführt.

In die Rückseite des Ventilkörpers 18, der integral mit der Hülse 16 ausgebildet ist, ist das vordere Ende einer Stange 28 eingeschraubt und somit an diesem befestigt. Das andere Ende der Stange 28 ist durch eine druckfeste Dichtung aus dem Hauptkörper 10 herausgeführt. In den vorstehenden Abschnitt der Stange 28 ist eine Erfassungsstange 34 eines Hubsensors 32, der an dem Hauptkörper 10 durch einen Rahmen 30 gehalten wird, eingeschraubt und somit an dieser befestigt. Dadurch wird eine Bewegung des Ventilkörpers 18 durch die Stange 28 auf den Hubsensor 32 übertragen. Ein Hub X des Ventilkörpers 18 wird durch den Hubsensor 32 erfaßt und an eine Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36, die in Fig. 2 gezeigt ist, ausgegeben.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild, das ein Ausführungsbeispiel für eine Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36 zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit Q auf der Grundlage der Erfassungssignale der Drucksensoren 24 und 26 sowie des Hubsensors 32, die für den Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus gemäß Fig. 1 vorgesehen sind, darstellt.

In der Schaltungsanordnung gemäß Fig. 2 werden die Erfassungssignale der Drucksensoren 24 und 26 und des Hubsensors 32, die für den Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus gemäß Fig. 1 vorgesehen sind, über betreffende Klemmen in die Arithmetikoperationseinheit 36 eingegeben. Die Erfassungssignale werden durch Verstärker 38, 40 bzw. 42 auf vorbestimmte Signalpegel verstärkt. Die Druckerfassungssignale der Drucksensoren 24 und 26, die durch die Verstärker 38 und 40 verstärkt werden, werden an eine Subtrahiereinheit 44 ausgegeben, so daß ein Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  des Ventilkörpers 18 als  $\Delta P = P_1 - P_2$  berechnet werden kann. Das Signal für den Vor-Rück-Differentialdruck  $P$ , das durch die Subtrahiereinheit 44 berechnet wird, und ein Signal für den Hub X des Ventilkörpers 18, das durch den Verstärker 42 verstärkt wird, werden einer Multipliziereinheit 46 zugeführt. Die Multipliziereinheit 46 berechnet die Durchflußgeschwindigkeit Q auf der Grundlage des Vor-Rück-Differentialdrucks P und des Hubes X des Ventilkörpers 18 und gibt das Resultat der Berechnung als Signal an eine Anzeigeeinrichtung und eine geeignete Regeleinrichtung (nicht gezeigt) aus.

Im folgenden wird das Berechnungsprinzip zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit Q durch die Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36 erläutert:

Wenn der Ventilkörper 18 durch den Einfluß der Flüssigkeit über den Einlaß 12, der in Fig. 1 gezeigt ist, geöffnet wird, und die Flüssigkeit über den Auslaß 14 ausfließt, ist die Durchflußgeschwindigkeit Q durch die

folgende Gleichung gegeben:

$$Q = C \cdot \pi \cdot D \cdot \sin\Theta / 2\Delta P / \rho \quad (1)$$

wobei  $C$  ein Durchflußkoeffizient ist, der nahezu konstant ist,  $D$  der Durchmesser des Ventilsitzes ist,  $\Theta$  der Winkel des konischen Abschnitts des Ventilkörpers ist,  $X$  der Hub des Ventilkörpers ist,  $\Delta P$  der Vor-Rück-Differentialdruck ist und  $\rho$  die Konzentration der Flüssigkeit ist.

Wie aus Gleichung (1) ersichtlich, können der Durchflußkoeffizient  $C$ , der Sitzdurchmesser  $D$ , der Winkel  $\Theta$  des konischen Abschnitts des Ventilkörpers sowie die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  als Konstanten behandelt werden. Daher hängt die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  von dem Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  des Ventilkörpers 18 und dem Hub  $X$  des Ventilkörpers 18 ab.

Aus diesem Grunde wird gemäß der vorliegenden Erfindung die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  aus dem Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  und dem Hub  $X$  auf der Grundlage der Erfassungsausgangssignale der Sensoren durch Durchführen der Multiplikation gemäß der Gleichung (1) mittels der Multipliziereinheit 46 in Fig. 2 gewonnen.

Im folgenden wird die Durchflußgeschwindigkeits-Meßoperation in dem zuvor genannten Ausführungsbeispiel erläutert:

Wenn die Flüssigkeit in den Einlaß 12 des Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus, der in Fig. 1 gezeigt ist, einfließt, wird der Ventilkörper 18, der den Kanal durch Berührung mit dem Sitzelement 15 durch die Druckkraft der Feder 20 geschlossen hatte, durch den eintretenden hydraulischen Druck von dem Sitzelement 15 fortbewegt, um dadurch den Kanal zu dem Auslaß 14 hin zu öffnen. Zu diesem Zeitpunkt werden der eingangsseitige Druck  $P_1$  und der ausgangsseitige Druck  $P_2$  durch die Drucksensoren 24 und 26 erfaßt. Der Hub  $X$  des Ventilkörpers 18 wird durch den Hubsensor 32 erfaßt. Die betreffenden Erfassungssignale werden jeweils der Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36, die in Fig. 2 gezeigt ist, zugeführt. Die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  wird auf der Grundlage der Gleichung (1) berechnet.

Wenn die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  aufgrund der Öffnung und der Bewegung des Ventilkörpers 18 nahezu konstant ist, heben sich die Kräfte, die auf die rechte und die linke Seite des Ventilkörpers 18 einwirken, auf, wie dies aus der folgenden Gleichung hervorgeht:

$$P_1 S = P_2 S + F \quad (2)$$

wobei  $S$  die Sitzfläche des Sitzelements 15 ist und  $F$  die Federkraft der Feder 20 ist, die eine niedrige Federsensitivität aufweist.

In diesem Fall ist der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  über dem Ventilkörper 18 nahezu konstant. Der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  wird, wie in der folgenden Gleichung gezeigt, aus Gleichung (2) zu

$$\Delta P = (P_1 - P_2) = F/S = \text{constant} \quad (3)$$

erhalten.

Der Ventilkörper 18 bewegt sich um die Länge des Hubes  $X$ , der eine Reaktion auf die Durchflußgeschwindigkeit ist, um so den Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  nahezu konstant zu halten, wodurch ein ausgeglichener Zustand aufrechtzuerhalten ist.

Die Reaktionsgeschwindigkeit des Meßgeräts bei der Messung der Durchflußgeschwindigkeit, wenn sich diese schnell ändert, werden im folgenden erläutert:

Wenn beispielsweise abrupt Flüssigkeit mit einer konstanten Durchflußgeschwindigkeit dem Einlaß 12 zugeführt wird, bewegt sich der Ventilkörper 18 entsprechend seiner Trägheit, dem Reibungswiderstand und dem Strömungswiderstand mit einer geringen Verzögerungszeit. Indessen wird der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  zu dieser Zeit derart erzeugt, daß er einen Wert hat, der mit einer abrupten Änderung der Durchflußgeschwindigkeit korrespondiert. Daher ist bereits selbst dann, wenn die Bewegung des Ventilkörpers 18 verzögert wird, ein ausreichend hoher Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$ , der mit der Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  korrespondiert, erzeugt worden. Demzufolge kann die Erfassungs-Durchflußgeschwindigkeit, welche durch die Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36 berechnet wird, akkurat auf der Grundlage der Durchflußgeschwindigkeit, die augenblicklich vorlag, gewonnen werden.

Darauf folgend verringert sich, wenn sich der Ventilkörper 18 bewegt, um den Öffnungsgrad zu erhöhen, der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  abrupt. Indessen erhöht sich zu diesem Zeitpunkt der Hub  $X$  des Ventilkörpers 18. Die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  selbst, die als Ergebnis der Berechnung der Arithmetikoperationseinheit 36 gewonnen wurde, behält denselben Wert wie diejenigen, der unmittelbar nach dem Einfluß der Flüssigkeit gewonnen wurde, bei.

Andererseits kann ebenfalls selbst dann, wenn die Durchflußgeschwindigkeit abrupt verringert wird, ähnlich dem zuvor Ausgeführten eine Änderung der Durchflußgeschwindigkeit, die mit der aktuellen abrupten Verringerung der Durchflußgeschwindigkeit korrespondiert, auf der Grundlage des Hubes  $X$  und des Vor-Rück-Differentialdrucks  $\Delta P$  ohne Rücksicht auf die Reaktionsgeschwindigkeit des Ventilkörpers 18 akkurat berechnet werden.

Die Frequenz der Reaktionsgeschwindigkeit der Arithmetikoperationseinheit 36, welche in Fig. 2 gezeigt ist, liegt üblicherweise bei einigen zehn kHz. Die Frequenz der Reaktionsgeschwindigkeiten der Drucksensoren 24 und 26 sowie des Hubsensors 32 kann ebenfalls sicher auf einige kHz festgelegt werden. Auf diese Weise kann die Frequenz der Reaktionsgeschwindigkeit bei der Messung der Durchflußgeschwindigkeit gemäß der vorliegenden Erfindung auf eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit, z. B. einige kHz abhängig von den Sensoren festge-

legt werden. Obgleich die Frequenz der Reaktionsgeschwindigkeit eines herkömmlichen Durchflußgeschwindigkeits-Meßgeräts, welches eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit hat, bis zu ungefähr einigen zehn Hz beträgt, ist es gemäß der vorliegenden Erfindung möglich, eine derartig hohe Reaktionsgeschwindigkeit zu realisieren, die um zwei oder mehr Größenordnungen besser als die Reaktionsgeschwindigkeit des herkömmlichen Geräts ist. Vermöge dieser hohen Reaktionsgeschwindigkeit kann die Regelreaktionsgeschwindigkeit, wenn eine Rückkopplungsschleife auf der Grundlage der erfaßten Durchflußgeschwindigkeit gebildet wird, merklich verbessert werden.

Fig. 3 zeigt eine Schnittansicht, die ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt. Dieses Ausführungsbeispiel ist dadurch gekennzeichnet, daß der Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus mit einem Differentialdrucksensor 48 versehen ist, daß der eingesetzte hydraulische Druck  $P_1$  und der ausgangsseitige hydraulische Druck  $P_2$  dem Differentialdrucksensor 48 zugeführt werden, daß ein Erfassungssignal  $\Delta P$  von dem Differentialdrucksensor 48 bereitgestellt wird und daß das Erfassungssignal, das aus dem Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  des sensor 48 entsteht, direkt durch den Sensor selbst gewonnen wird. Der übrige mechanische Aufbau ist derselbe wie in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1.

Ein Signal für den Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  über dem Ventilkörper 18, welcher Druck durch den Differentialdrucksensor 48 erfaßt wird, wird an die Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36 gelegt. Die Arithmetikoperationseinheit 36 gemäß Fig. 3 weist eine Schaltungsanordnung auf, die sich durch Fortlassen der Verstärker 38 und 40 und der Subtrahiereinheit 44 aus der Schaltungsanordnung gemäß Fig. 2 ergibt. Die Arithmetikoperationseinheit 36 gemäß Fig. 3 berechnet die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  aus der Gleichung (1) auf der Grundlage des Signals für den Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  aus dem Differentialdrucksensor 48 und des Signals für den Hub  $X$  aus dem Hubsensor 32 und gibt ein Signal für die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  aus. Dadurch kann der Schaltungsaufbau vereinfacht werden, weil der Arithmetikoperationsabschnitt zum Berechnen des Vor-Rück-Differentialdrucks  $\Delta P$  fortgelassen werden kann.

Fig. 4 zeigt eine Schnittansicht, die ein weiteres Ausführungsbeispiel für die vorliegende Erfindung darstellt. Ein Merkmal dieses Ausführungsbeispiels besteht darin, daß der Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus, welcher in Fig. 1 gezeigt ist, mit der Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36 versehen ist, die einen Durchflußgeschwindigkeits-Anzeiger 50 aufweist.

Dazu ist die Arithmetikoperationseinheit 36, die in sich die Schaltungsanordnung gemäß Fig. 2 enthält, auf den Hauptkörper 10 des Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus aufgesetzt. Der Durchflußgeschwindigkeits-Anzeiger 50, der eine Flüssigkristallanzeige oder dergl. verwendet, ist räumlich vor der Arithmetikoperationseinheit 36 angeordnet. Die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$ , die auf der Grundlage der Erfassungsausgangssignale der Drucksensoren 24 und 26 sowie des Hubsensors 32 berechnet wird, kann durch den Durchflußgeschwindigkeits-Anzeiger 50 als ein numerischer Wert angezeigt werden.

Der übrige mechanische Aufbau ist derselbe wie derjenige für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1. Die Arithmetikoperationseinheit 36, die den Durchflußgeschwindigkeits-Anzeiger 50 enthält, kann ebenfalls ähnlich wie im Falle des Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus, welcher den Differentialdrucksensor 48, wie er in Fig. 3 gezeigt ist, verwendet, räumlich vor sich den Durchflußgeschwindigkeits-Anzeiger 50 angebracht aufweisen.

Fig. 5 zeigt ein Prinzipschaltbild, das ein Ausführungsbeispiel für eine Geschlossenschleifenregelung zum Regeln des Drucks und der Durchflußgeschwindigkeit eines Hydraulikzylinders darstellt, der das Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät gemäß der vorliegenden Erfindung benutzt.

In Fig. 5 wird ein hydraulischer Druck aus einer Hydraulikdruckquelle 100 an ein Drei-Positions-Umschaltventil 106 durch ein elektromagnetisches Durchflußgeschwindigkeits-Regelventil 102 und ein Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät 104 gemäß der vorliegenden Erfindung geführt. Das Umschaltventil 106 schaltet die Bewegungsrichtung eines Hydraulikzylinders 108 um. Andererseits zweigt von diesem System ein elektromagnetisches Überdruckventil 110 ab, das mit der primären Seite des Regelventils 102 verbunden ist, um dadurch zu ermöglichen, den Druck der Hydraulikdruckquelle 100 zu regeln.

Eine geschlossene Regelschleifenschaltung 112 nimmt ein Signal für die gemessene Durchflußgeschwindigkeit aus dem Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät 104 gemäß der vorliegenden Erfindung auf und steuert das Regelventil 102, um so eine Abweichung zwischen der gemessenen Durchflußgeschwindigkeit und einer voreingestellten Soll-Durchflußgeschwindigkeit zu eliminieren. Wie in dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel gezeigt, ist das Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät 104 gemäß der vorliegenden Erfindung mit den Drucksensoren 24 und 26 versehen. Daher wird beispielsweise ein Signal für den ausgangsseitigen Druck  $P_2$  des Drucksensors 26 an die Regelschleifenschaltung 112 abgegeben und mit einem vorbestimmten Wert verglichen. Wenn ein Druck erfaßt wird, der den vorbestimmten Wert überschreitet, wird das elektromagnetische Überdruckventil 110 wirksam gemacht. Der Hydraulikdruck aus der Hydraulikdruckquelle 100 wird durch Betätigen des Überdruckventils konstant gehalten, und dieser konstante Druck wird dem Hydraulikzylinder 108 zugeführt.

Betreffend den zuvor erläuterten Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus in diesem Ausführungsbeispiel wurde eine Aussage in bezug auf das Beispiel seines Aufbaus derart getroffen, daß der Ventilkörper 18, der durch die Feder 20 einem Druck ausgesetzt ist, um so die Durchflußgeschwindigkeit zu reduzieren, in dem Kanal zwischen dem Einlaß 12 und dem Auslaß 14 angeordnet ist. Indessen ist die vorliegende Erfindung nicht auf diese Ventilkonstruktion beschränkt. Ähnlich wie bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel ist es möglich, eine Konstruktion vorzusehen, in der ein Kolben, ein Stauventil oder dergl. durch eine Feder in Richtung auf den Öffnungsabschnitt des Sitzelements 15 zu gedrückt wird, und die derart beschaffen ist, daß sich der Öffnungsgrad bei einer Position entfernt von dem Sitz oder dem abgeschrägten Loch in Reaktion auf eine Änderung der Durchflußgeschwindigkeit erhöht und daß der Hub aufgrund der Erhöhung des Öffnungsgrades durch einen Detektor erfaßt wird.

Desweiteren kann entweder eine analoge arithmetische Arithmetikoperationseinheit oder eine digitale arithmetische Arithmetikoperationseinheit als die arithmetische Arithmetikoperationseinheit zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit in dem vorangegangenen Ausführungsbeispiel verwendet werden.

Fig. 6 zeigt ein Blockschaltbild, das ein weiteres Ausführungsbeispiel für die Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36 zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  auf der Grundlage der Erfassungsausgangssignale aus den Drucksensoren 24 und 26 sowie des Hubsensors 32, die in dem Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus gemäß Fig. 1 vorgesehen sind, darstellt.

Das Prinzip der arithmetischen Operation der Arithmetikoperationseinheit, wie sie in Fig. 6 gezeigt ist, ist wie folgt:

Zunächst werden die Drücke  $P_1$  und  $P_2$  des Einlasses 12 und des Auslasses 14 sowie der Hub  $X$  des Ventilkörpers 18 von dem Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus, welcher in Fig. 1 gezeigt ist, erfaßt. Die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  wird unter Verwendung des Vor-Rück-Differentialdrucks  $P$  des Ventilkörpers 18 aus der Gleichung (1) berechnet.

Der Durchflußkoeffizient  $C$  in der Gleichung (1) hat einen Wert, der sich in Abhängigkeit von der Reynoldschen Zahl  $Re$  ändert, und ist wie folgt auszudrücken:

$$C = k(Re)^{1/n} \quad (4)$$

wobei  $Re$  die Reynoldsche Zahl ist,  $k$  eine Konstante ist und  $n$  eine Konstante ist, die durch die Form des Ventils bestimmt ist.

Desweiteren ist die Reynoldsche Zahl  $Re$  durch die folgende Gleichung gegeben:

$$Re = [(A \cdot \sqrt{2\Delta P})/\rho/v]^{1/n} \quad (5)$$

wobei  $v$  die kinematische Viskosität ist.

Fig. 7 zeigt ein Diagramm, aus dem die Beziehung zwischen der Reynoldschen Zahl  $Re$ , die aus der Gleichung (5) gewonnen wird, und dem Durchflußkoeffizienten  $C$ , der aus der Gleichung (4) abgeleitet wird, ersichtlich ist. Im allgemeinen ändert sich der Durchflußkoeffizient  $C$  in Übereinstimmung mit der Gleichung (4), bis ein bestimmter Wert der Reynoldschen Zahl  $Re$  erreicht ist, jedoch wird danach ein konstanter Wert selbst dann gehalten, wenn sich die Reynoldsche Zahl  $Re$  erhöht. In dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 ist eine Begrenzerschaltung vorgesehen. Der Durchflußkoeffizient  $C$  wird in Reaktion auf die Reynoldsche Zahl  $Re$  geändert, bis ein bestimmter Maximalwert der Reynoldschen Zahl  $Re$  erreicht ist, jedoch wird der Durchflußkoeffizient  $C$  durch die Begrenzerschaltung 56 auf einen konstanten Wert eingestellt.

Fig. 8 zeigt ein Diagramm, aus dem die Beziehung zwischen einer Referenz-Durchflußgeschwindigkeit und der gemessenen Durchflußgeschwindigkeit hervorgeht wenn der Durchflußkoeffizient  $C$  auf einen konstanten Wert eingestellt ist. Gemäß Fig. 8 verschlechtert sich, wenn die Durchflußgeschwindigkeit klein ist, die Linearität, wie dies durch eine ausgezogene Linie dargestellt ist, und der Durchflußkoeffizient  $C$  ändert sich in Reaktion auf die Reynoldsche Zahl  $Re$  in diesem schwach linearen Bereich. In gewöhnlichen Anwendungsfällen kann diese Verschlechterung der Linearität in dem Änderungsbereich des Durchflußkoeffizienten  $C$ , der von der Reynoldschen Zahl  $Re$  abhängt, vernachlässigt werden. Indessen wird, da die vorliegende Erfindung auf das Messen einer extrem genau bestimmbarer Durchflußgeschwindigkeit und das Regeln auf der Grundlage der gemessenen Durchflußgeschwindigkeit anzuwenden ist, der Durchflußkoeffizient  $C$  in Übereinstimmung mit der Reynoldschen Zahl  $Re$  berechnet, bis der Durchflußkoeffizient  $C$  konstant wird, nachdem die Reynoldsche Zahl  $Re$  einen bestimmten Wert erreicht hat.

Im folgenden wird die Arithmetikoperationseinheit 36 gemäß Fig. 6 zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  auf der Grundlage der Gleichungen (1), (4) und (5) erläutert:

Zunächst werden die Signale für die erfaßten Drücke aus den Drucksensoren 24 und 26 durch die Verstärker 38 und 40 verstärkt. Der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  wird durch die Subtrahiereinheit 44 derart berechnet, daß  $\Delta P = P_1 - P_2$  ist. Das Signal für den Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$ , der durch die Subtrahiereinheit 44 berechnet worden ist, wird an die Multipliziereinheit 46 abgegeben. Desweiteren wird das Signal für den Hub  $X$ , der durch den Hubsensor 32 erfaßt wird, von dem Verstärker 42 an die Multipliziereinheit 46 abgegeben. Damit berechnet die Multipliziereinheit 46 den Arithmetikoperationsparameter

$$X \cdot \sqrt{2\Delta P}/\rho$$

in den Gleichungen (1) und (5). Das Ausgangssignal der Multipliziereinheit 46 wird einem Arithmetikoperationsabschnitt 52 zugeführt. Der Arithmetikoperationsabschnitt 52 berechnet die Reynoldsche Zahl  $Re$  mittels der Gleichung (5) durch Verwendung der kinematischen Viskosität ( $v$ ), die durch eine Setzeinrichtung 54 auf einen konstanten Wert gesetzt wurde. Die Reynoldsche Zahl  $Re$ , die durch den Arithmetikoperationsabschnitt 52 berechnet wurde, wird an die Begrenzerschaltung 56 abgegeben. Die Begrenzerschaltung 56 hat eine Begrenzungsfunktion derart, daß der Wert, der durch den Arithmetikoperationsabschnitt 52 berechnet wird, unverändert ausgegeben wird, bis die Reynoldsche Zahl  $Re$  einen voreingestellten Wert erreicht, und ein konstanter Wert als die Reynoldsche Zahl  $Re$  ausgegeben wird, nachdem diese den voreingestellten Wert erreicht hat. Ein Operationsabschnitt 58 multipliziert die Reynoldsche Zahl  $Re$ , die durch die Begrenzerschaltung 56 gewonnen wurde, mit dem Arithmetikoperationsparameter

$$X \cdot \sqrt{2\Delta P}/\rho,$$

der von der Multipliziereinheit 46 abgeleitet wird. Des Weiteren werden in einem Arithmetikoperationsabschnitt 60 die Konstanten  $\pi$ ,  $D$  und die Gleichung (1), die durch eine Einstelleinrichtung 62 gegeben sind, mit der Konstanten  $k$  multipliziert, die aus der Gleichung (4) gewonnen wird, und schließlich wird ein Signal für die sich ergebende Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  ausgegeben.

Mit der Arithmetikoperationseinheit 36, die in Fig. 6 gezeigt ist, wird der Durchflußkoeffizient  $C$ , der auf eine Änderung der Reynoldschen Zahl  $Re$  anspricht, gewonnen, bis die Reynoldsche Zahl  $Re$ , die durch den Arithmetikoperationsabschnitt 52 berechnet wird, einen bestimmten Wert erreicht, der in der Begrenzerschaltung 56 eingestellt ist. Daher kann in der Durchflußgeschwindigkeits-Kennlinie, die in Fig. 8 gezeigt ist, die Charakteristik in dem Bereich, der die geringe Linearität aufweist (durch eine ausgezogene Linie dargestellt), wenn die Durchflußgeschwindigkeit klein ist, in die lineare Durchflußgeschwindigkeits-Messungscharakteristik (durch eine unterbrochene Linie dargestellt) durch das Berechnen des korrekten Durchflußkoeffizienten  $C$  korrigiert werden. Auf diese Weise kann als Ergebnis der Messung eine akkurate Durchflußgeschwindigkeitsbestimmung in bezug auf den gesamten Bereich der Durchflußgeschwindigkeit erreicht werden.

In dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 wird der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  durch die Subtrahiereinheit 44 berechnet. Indessen ist es auch möglich, den Differentialdrucksensor 48, wie er in Fig. 3 gezeigt ist, vorzusehen und ein Signal für den Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$ , das durch den Differentialdrucksensor 48 gewonnen wird, direkt an die Multipliziereinheit 46 in Fig. 2 abzugeben.

Fig. 9 zeigt eine Schnittansicht, die ein weiteres Ausführungsbeispiel für den Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus darstellt, der gemäß der vorliegenden Erfundung benutzt wird.

In diesem Ausführungsbeispiel besteht ein besonderes Merkmal darin, daß ein Temperatursensor 64 zum Erfassen der Flüssigkeitstemperatur  $T$  an dem Abschnitt des Einlasses 12 des Hauptkörpers 10 angebracht ist. Der übrige Aufbau ist derselbe wie derjenige des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1.

Anstelle des Temperatursensors 64 des Typs, der separat angeordnet ist, wie dies in Fig. 9 gezeigt ist, ist es auch möglich, einen Temperatursensor zu verwenden, der einen Aufbau derart hat, daß das Erfassungselement des Temperatursensors integral in den Drucksensor 24 oder den Drucksensor 26 eingebaut ist. Dies bedeutet, daß der Drucksensor 24 oder 26 in einer Weise aufgebaut sein kann, daß ein Verformungssensor oder dergl. an der Außenseite einer Membran befestigt ist, die den Flüssigkeitsdruck aufnimmt, wobei diese Membran in direkte Berührung mit der Flüssigkeit kommt. Damit kann durch Anbringen des Erfassungselements des Temperatursensors an der Membran die Flüssigkeitstemperatur  $T$  akkurat erfaßt werden, und der Temperatursensor kann durch direktes Ausnutzen des druckresistenten Aufbaus des Drucksensors realisiert werden.

Fig. 10 zeigt den Temperatursensor 64 in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 9 im einzelnen. Der Temperatursensor 64 hat ein Schutzgehäuse 80 zum Erfassenkönnen der Temperatur einer unter hohem Druck stehenden Flüssigkeit. Ein Erfassungselement 82, beispielsweise ein Temperaturmeß-Platinwiderstand, ein Thermistor oder dergl., ist innerhalb des Schutzgehäuses 80 vorgesehen. Ein Füllmaterial 84 ist um den Umfang des Erfassungselement 82 herum angeordnet und füllt den bestehenden Zwischenraum aus, um dadurch die Wärmeleitung von der Flüssigkeit durch das Schutzgehäuse 80 zu verbessern.

Die Arithmetikoperationseinheit 36, die in sich eine Schaltungsanordnung enthält, wie sie in Fig. 11 gezeigt ist, ist oberhalb des Hauptkörpers 10 an diesem angebracht. Für die Arithmetikoperationseinheit 36 ist ein Durchflußgeschwindigkeits-Anzeiger 50 vorgesehen. Die Erfassungsausgangssignale der Drucksensoren 24 und 26, des Hubsensors 32 und des Temperatursensors 64 werden der Arithmetikoperationseinheit 36 über Signalleitungen zugeführt. Die gemessene Durchflußgeschwindigkeit, die durch die Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperation auf der Grundlage dieser Erfassungssignale gewonnen wird, wird digital durch einen numerischen Wert angezeigt. Des Weiteren werden der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$ , die erfaßte Temperatur  $T$ , die kinematische Viskosität  $\nu$ , der Hub  $X$ , die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  und dergl. als arithmetische Operationsparameter, die für die Berechnung der Durchflußgeschwindigkeit benutzt werden, nach außen herausgeführt.

Fig. 9 zeigt des Weiteren, daß ein sog. Naßtyp-Hubsensor als der Hubsensor 32 verwendet wird. Bei diesem Naßtyp-Hubsensor 32 ist koaxial an dem hinteren Abschnitt der Stange 28 ein Teil aus einem magnetischen Material 74 befestigt, und eine Wicklung 78, die einen Differentialtransformator bildet, ist um die Außenseite eines Gehäuses 76 herumgewickelt, in welchem das Teil aus dem magnetischen Material 74 verschiebbar untergebracht ist. Wenn sich das Teil aus dem magnetischen Material 74 bewegt, gibt die Wicklung 78 eine Signalspannung ab, die mit dem Hub  $X$  des Ventilkörpers 18 korrespondiert. Der Hubsensor 32 ist allerdings nicht auf den Naßtyp-Hubsensor, der den Differentialtransformator verwendet, beschränkt, sondern kann auch aus einem Hubsensor bestehen, der als Trockentyp-Hubsensor bezeichnet wird, beispielsweise aus einem Potentiometer oder dergl., das durch die Stange 28 betätigt wird.

Fig. 11 zeigt ein Blockschaltbild, das ein weiteres Ausführungsbeispiel für die Durchflußgeschwindigkeits-Arithmetikoperationseinheit 36 darstellt, welche den Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus benutzt, der in Fig. 9 gezeigt ist.

Die Erfassungsauslaßsignale der Drucksensoren 24 und 26, des Hubsensors 32 und des Temperatursensors 64 werden an die Arithmetikoperationseinheit 36 abgegeben.

Das arithmetische Operationsprinzip zur Berechnung der Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  in der Arithmetikoperationseinheit 36 ist wie folgt:

Zunächst werden die Drücke  $P_1$  und  $P_2$  des Einlasses 12 bzw. des Auslasses 14, der Hub  $X$  des Ventilkörpers 18 und die Flüssigkeitstemperatur  $T$  erfaßt und von dem Durchflußgeschwindigkeits-Erfassungsmechanismus, der in Fig. 9 gezeigt ist, ausgegeben. Die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  wird mittels der Gleichung (1) aus dem Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  des Ventilkörpers 18 berechnet.

Die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  in der Gleichung (1) ändert sich in Reaktion auf die Flüssigkeitstemperatur  $T$ . Die Änderung der Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  in Reaktion auf die Temperatur  $T$  ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$\rho = \rho_0 (1 + A\Delta T - B\Delta T^2),$$

wobei sich, wenn der Wert von  $B\Delta T^2$  durch Betrachtung als Null vernachlässigt wird, ergibt:

$$\rho = \rho_0 (1 + A\Delta T) \quad (6)$$

5

wobei  $A$  eine Konstante ist, die durch die Art der Flüssigkeit, z. B. Öl, bestimmt ist.

Auf diese Weise führt die Arithmetikoperationseinheit 36 gemäß Fig. 11 die Durchflußgeschwindigkeits-Berechnung nach der Gleichung (1) unter Verwendung der Flüssigkeitskonzentration  $\rho$ , die durch die Gleichung (6) korrigiert wurde, auf der Grundlage der erfaßten Temperatur  $T$  der Flüssigkeit durch.

10

Andererseits hat der Durchflußkoeffizient  $C$  in der Gleichung (1) einen Wert, der sich in Reaktion auf die Reynoldsche Zahl  $Re$  ändert und durch die Gleichung (4) gegeben ist.

Des Weiteren ist die Reynoldsche Zahl  $Re$ , die durch die Gleichung (5) gegeben ist, wie folgt auszudrücken:

$$Re = L \cdot V/v \quad (7)$$

15

wobei  $L$  der Öffnungsgrad des Ventils ist,  $V$  die Flußgeschwindigkeit ist und  $v$  die kinematische Viskosität ist.

Die Flußgeschwindigkeit  $V$  ist gegeben durch:

$$V = \sqrt{2\Delta P/\rho} \quad (20)$$

20

Die kinematische Viskosität ist wie folgt bestimmt:

$$\log_{10} \log_{10} (v + C_1) = -n \cdot \log_{10} T + C_2 \quad (8).$$

25

Aus der Gleichung (8) ist ersichtlich, daß sich die kinematische Viskosität  $v$ , die bei der Berechnung der Reynoldschen Zahl  $Re$  benutzt wird, in Abhängigkeit von der Flüssigkeitstemperatur  $T$  ändert. Daher wird in dem Ausführungsbispiel gemäß Fig. 11 durch Auflösung der Gleichung (8) die Reynoldsche Zahl  $Re$  der Gleichung (7) aus der kinematischen Viskosität  $v$  gewonnen, die durch die Flüssigkeitstemperatur  $T$  korrigiert wird. Der Durchflußkoeffizient  $C$  wird ferner durch die Gleichung (4) gewonnen.

Des Weiteren ist in bezug auf den Durchflußkoeffizienten  $C$ , der durch die Gleichung (4) gegeben ist, eine Begrenzerschaltung in ähnlicher Weise wie in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 vorgesehen, und der Durchflußkoeffizient  $C$  wird in Reaktion auf die Reynoldsche Zahl  $Re$  geändert, bis die Reynoldsche Zahl  $Re$  einen bestimmten Maximalwert erreicht. Indessen wird der Durchflußkoeffizient  $C$  durch die Begrenzerschaltung auf einen konstanten Wert gesetzt, nachdem die Reynoldsche Zahl  $Re$  den Maximalwert erreicht hat.

30

Die Arithmetikoperationseinheit 36 gemäß Fig. 11 zum Berechnen der Durchflußgeschwindigkeit auf der Grundlage des zuvor erläuterten Operationsprinzips wird nun im folgenden beschrieben.

35

Zunächst wird der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$  wie folgt gewonnen:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

40

Dies geschieht durch einen Differentialoperationsverstärker 66 auf der Grundlage der Erfassungssignale der Drucksensoren 24 und 26. Der Differentialoperationsverstärker 66 enthält die Verstärker 38 und 40 und die Subtrahiereinheit 44, die in Fig. 6 gezeigt sind. Der Vor-Rück-Differentialdruck  $\Delta P$ , der durch den Differentialoperationsverstärker 66 berechnet wird, wird an die Multipliziereinheit 46 abgegeben, und es wird der Arithmetikoperationsparameter

45

$$X/\Delta P/\rho$$

46

in der Gleichung (1) wird Verwendung des Hubs  $X$  berechnet, der durch den Hubsensor 32 erfaßt wird, für den ein Signal aus dem Verstärker 42 abgegeben wurde. Die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$ , die durch die Erfassungsflüssigkeitstemperatur  $T$  korrigiert wurde, wird in der Berechnung durch die Multipliziereinheit 46 verwendet. Das Ausgangssignal des Temperatursensors 64 wird einer Temperatur erfassungseinheit 68 zugeführt, in der die Flüssigkeitstemperatur  $T$  erfaßt wird.

50

Das Signal für die erfaßte Temperatur  $T$  wird einer Konzentrationskorrektur einheit 70 übergeben. Die Konzentrationskorrektur einheit 70 führt die Korrektur aufgrund der Flüssigkeitstemperatur auf der Grundlage der Gleichung (6) aus. Ein Signal für die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$ , die durch die Flüssigkeitstemperatur korrigiert wurde, wird der Multipliziereinheit 46 übergeben. Es sind jedoch auch Fälle möglich, in denen die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  nicht notwendigerweise korrigiert werden muß. In diesen Fällen ist die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  als eine Konstante gegeben.

55

Das Ausgangssignal der Multipliziereinheit 46 wird an den Arithmetikoperationsabschnitt 52 abgegeben, und der Durchflußkoeffizient  $C$  wird auf der Grundlage der Gleichungen (4) und (7) berechnet. Die kinematische Viskosität  $v$ , die in einem Kinematikviskositäts-Korrekturabschnitt 72 auf der Grundlage der Flüssigkeitstemperatur  $T$  korrigiert wird, für die ein Signal aus der Temperatur erfassungseinheit 68 gewonnen wird, wird bei der Berechnung des Durchflußkoeffizienten  $C$  durch den Arithmetikoperationsabschnitt 52 benutzt. Das bedeutet, daß der Kinematikviskositäts-Korrekturabschnitt 72 die temperaturkorrigierte kinematische Viskosität  $v$  aus der Gleichung (8) auf der Grundlage der Flüssigkeitstemperatur  $T$  gewinnt und für diese ein Signal an den Arithmetikoperationsabschnitt 52 abgibt.

65

Die folgenden Berechnungen durch die Begrenzerschaltung 56 und die Operationsabschnitte 58 und 60 sind

dieselben wie diejenigen in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6.

Schließlich wird die Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  durch den Arithmetikoperationsabschnitt 60 mittels der folgenden Gleichung berechnet:

$$5 \quad Q = k(A \cdot V/v)^{1/n} \cdot \pi D X \sin \Theta / 2 \Delta P / \rho \quad (9).$$

Bei der Durchflußgeschwindigkeits-Berechnung durch die Arithmetikoperationseinheit 36 gemäß Fig. 11 werden die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  und die kinematische Viskosität  $v$ , die in dieser Berechnung benutzt werden, jeweils auf der Grundlage der Flüssigkeitstemperatur  $T$  korrigiert. Im allgemeinen ändert sich beispielsweise die Konzentration von mineralischem Hydraulik-Arbeitsöl um ungefähr 5% bei Betriebstemperaturen von 0–10°C. Indessen werden für eine derartige Temperaturänderung die Flüssigkeitskonzentration  $\rho$  und die kinematische Viskosität  $v$ , die in der Durchflußgeschwindigkeits-Berechnung benutzt werden, jeweils wie zuvor ausgeführt, korrigiert. Daher kann ein extrem genaues Ergebnis der Messung der Durchflußgeschwindigkeit  $Q$  auch dann gewonnen werden, wenn beliebige Flüssigkeitstemperaturen zwischen einer niedrigen Temperatur 15 und einer hohen Temperatur vorliegen.

Verglichen mit der Änderung der kinematischen Viskosität ist die Änderung der Konzentration der Flüssigkeit ziemlich klein. Daher kann die Flüssigkeitskonzentration als konstant betrachtet werden, und es besteht keine Notwendigkeit, die Konzentration durch die Temperatur in Abhängigkeit von dem Ort, an welchem das Gerät benutzt wird, zu korrigieren.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Patentanmeldung v. 22.04.1987  
Tokyo Keiki Company Ltd.  
"Durchflußgeschwindigkeits-Meßgerät"

Nummer: 37 13 542  
Int. Cl.4: G 01 F 1/38  
Anmeldetag: 22. April 1987  
Offenlegungstag: 29. Oktober 1987

3713542

FIG. I

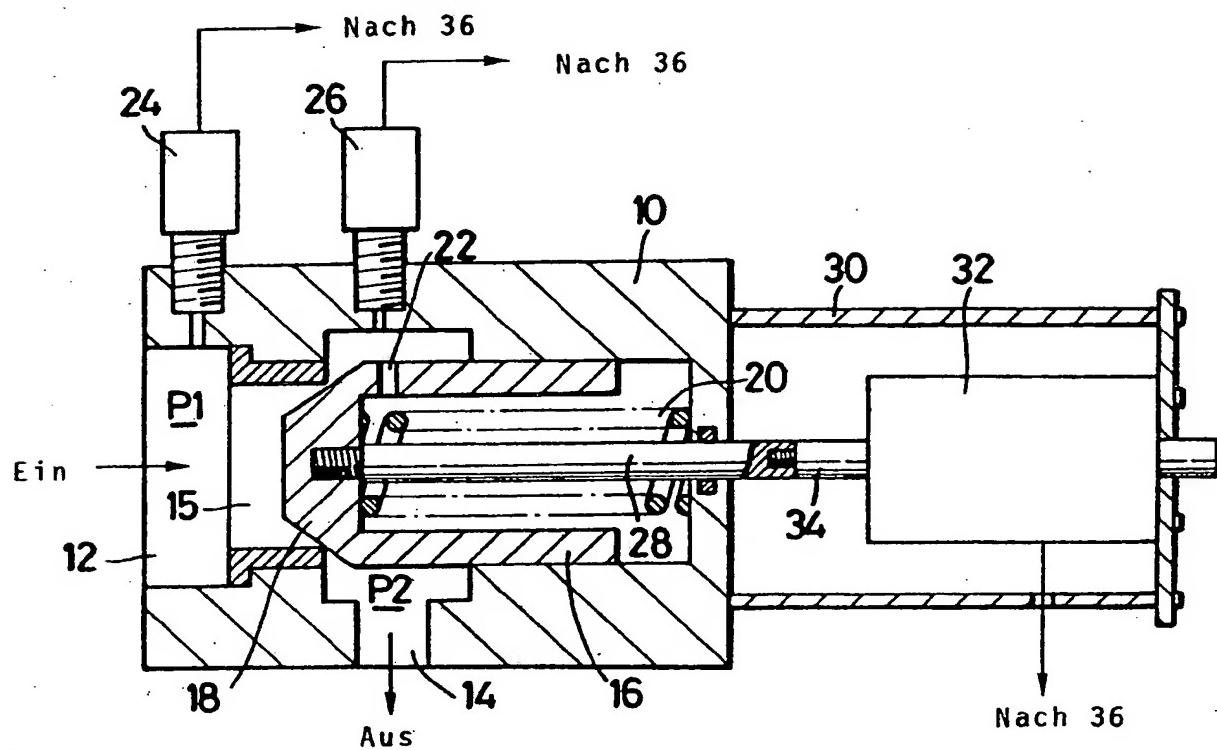
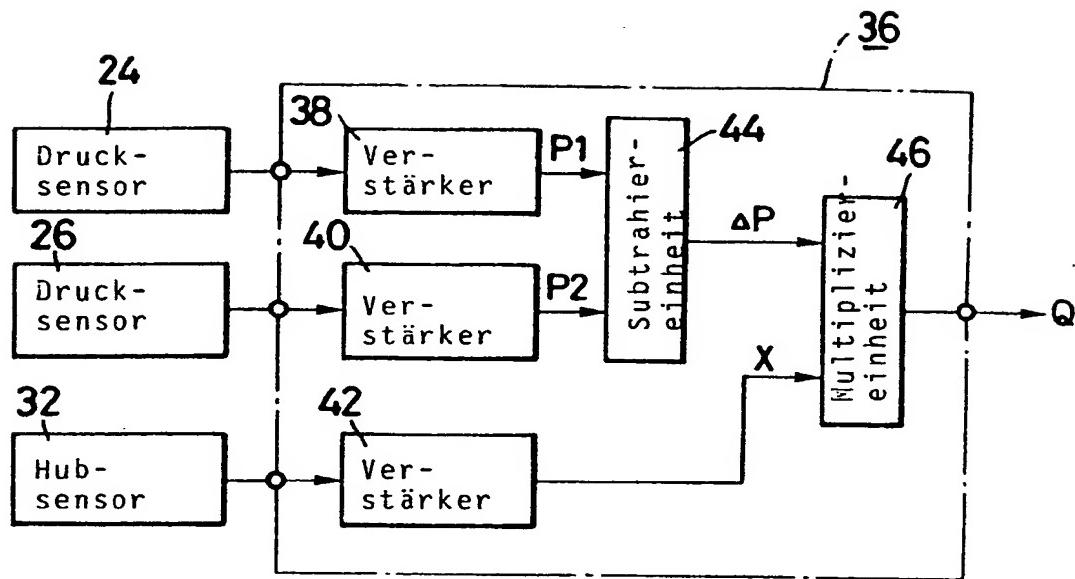


FIG. 2



ORIGINAL INSPECTED

FIG. 3

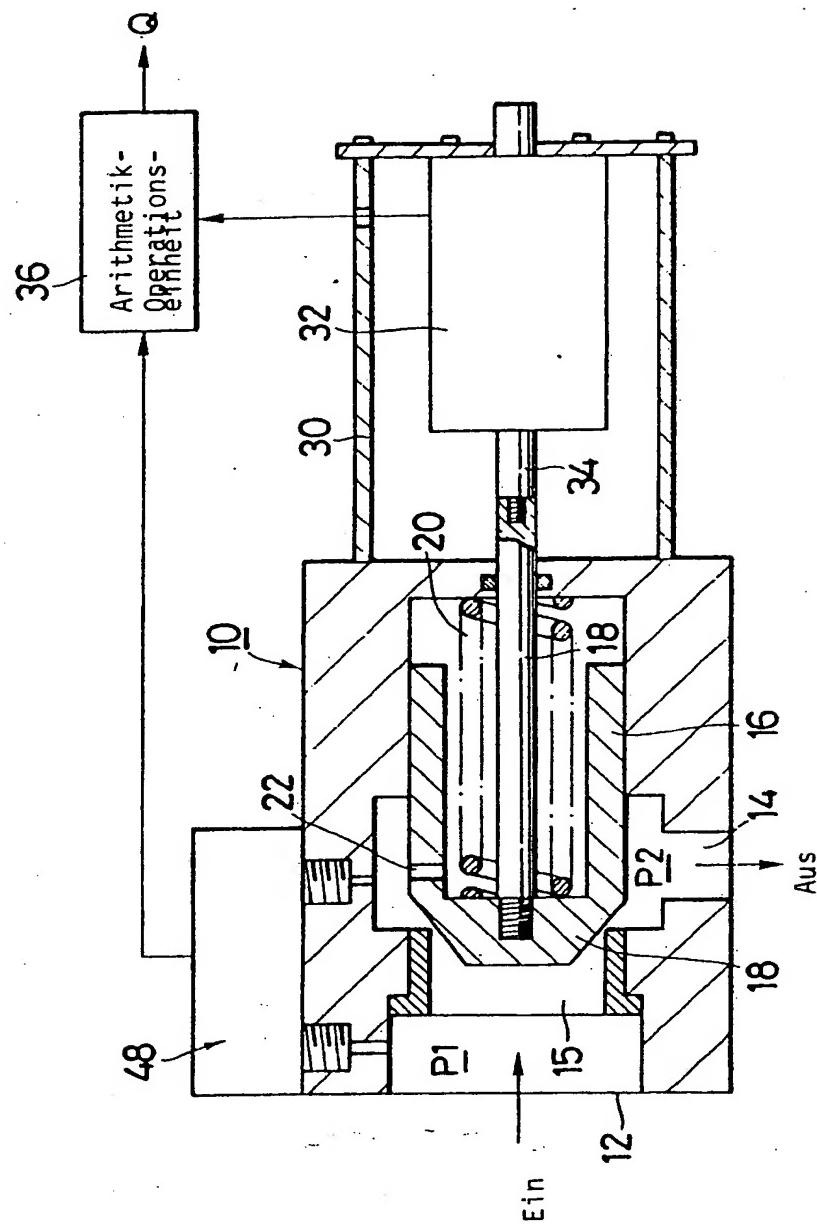


FIG. 4

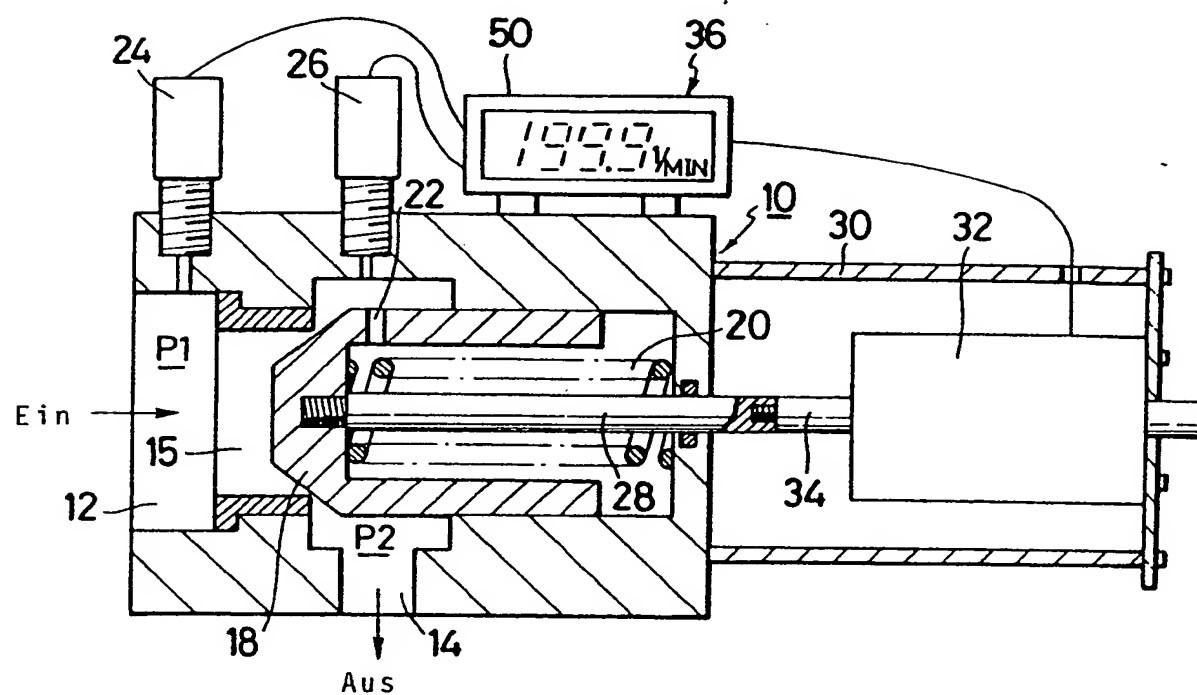
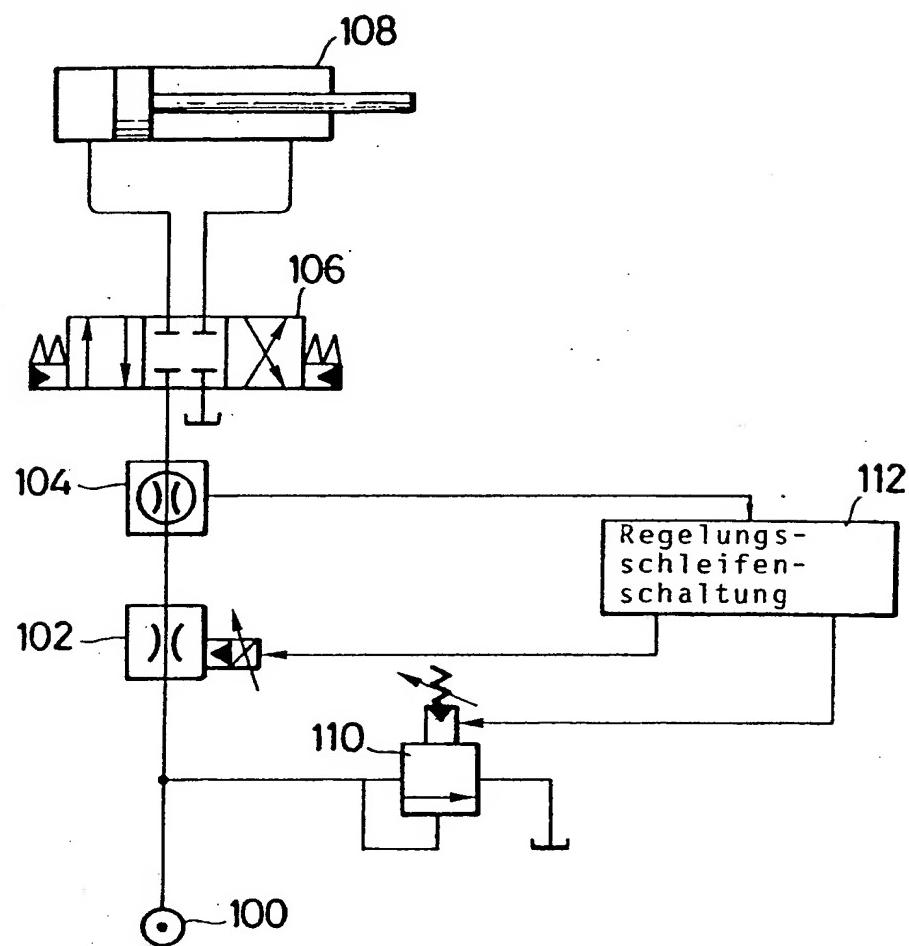
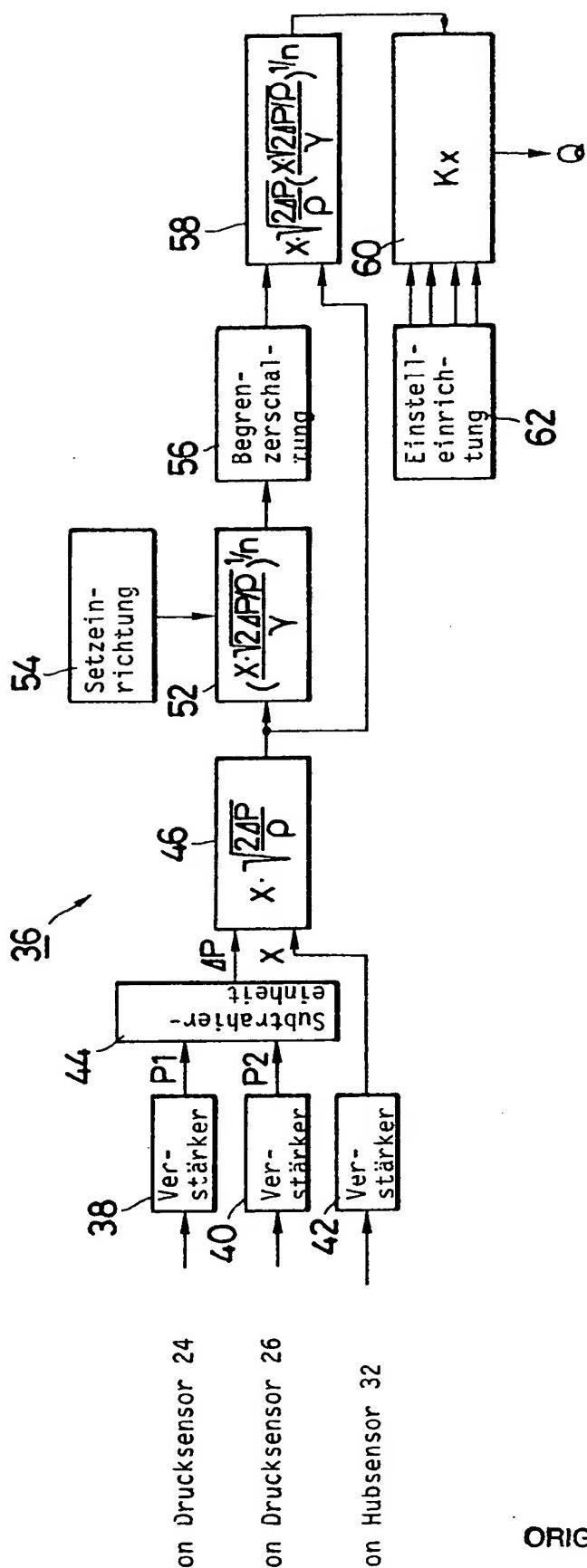


FIG. 5



ORIGINAL INSPECTED

FIG. 6



ORIGINAL INSPECTED

"Durchflussgeschwindigkeits-Meßgerät"

Patentanmeldung v. 22.04.1987

Tokyo Keiki Company Ltd.

FIG. 7

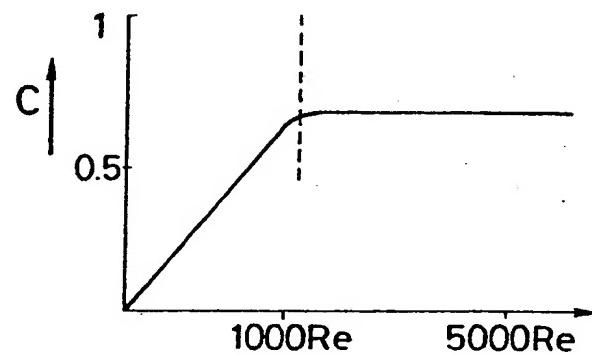
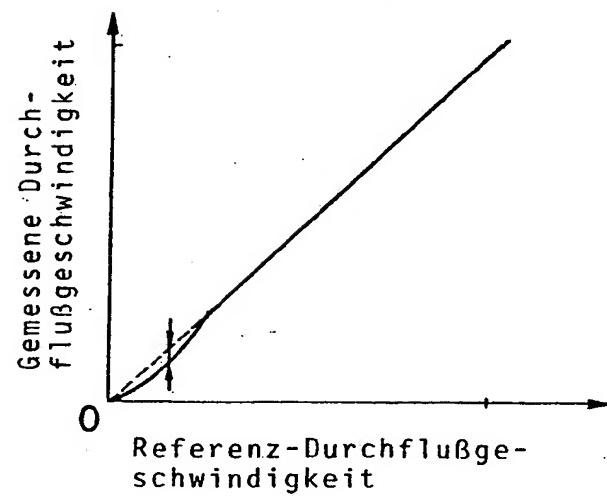


FIG. 8



ORIGINAL INSPECTED

FIG. 9

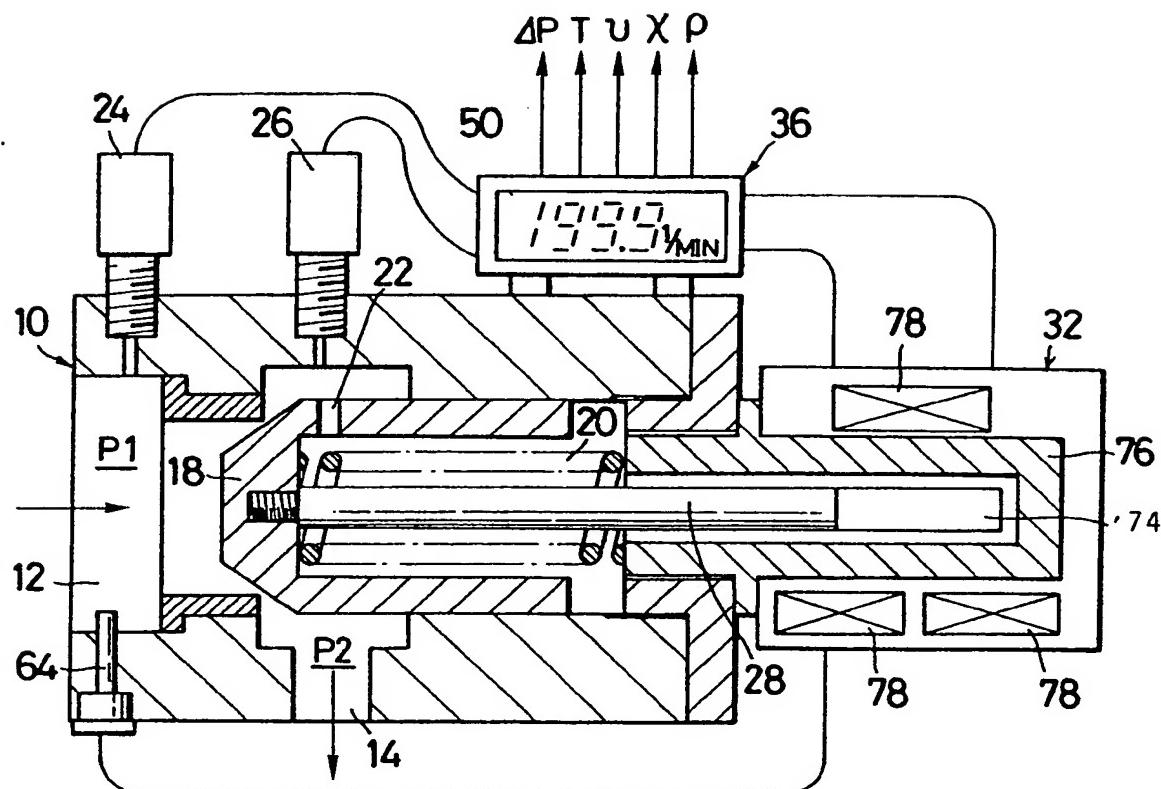
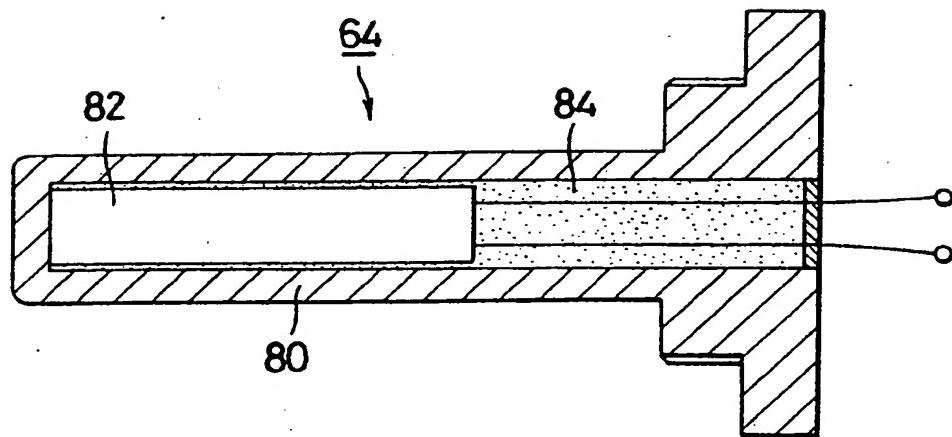


FIG.10



ORIGINAL INSPECTED

一一  
上

